

Pemberdayaan Lahan Kering Suboptimal untuk Mendukung Kebijakan Diversifikasi dan Ketahanan Pangan

Empowerment of Sub-Optimal Dry Land to Support Diversification and Food Security Policy

¹Ai Dariah dan ²Nani Heryani

¹ Peneliti Badan Litbang Pertanian di Balai Penelitian Tanah, Jl. Tentara Pelajar No. 12, Bogor 16614; email: aidariah@yahoo.com

² Peneliti Badan Litbang Pertanian di Balai Penelitian Agroklimate dan Hidrologi, Jl. Tentara Pelajar No. 1A, Bogor 16111

Diterima 17 Maret 2014; Direview 31 Maret 2014; Disetujui dimuat 24 April 2014

Abstrak. Kebijakan diversifikasi pangan sebagai salah satu opsi pencapaian ketahanan pangan nasional, tidak bisa lepas dari program pemberdayaan lahan kering, karena lahan kering merupakan penghasil utama pangan alternatif selain beras. Namun demikian, luasan lahan kering yang subur sudah semakin terbatas, sehingga pilihan jatuh pada lahan kering suboptimal. Oleh karena itu diperlukan inovasi teknologi untuk menanggulangi faktor pembatas lahan kering suboptimal, sehingga dapat dimanfaatkan untuk pengembangan pertanian khususnya tanaman pangan. Paper ini membahas usaha pemberdayaan lahan kering suboptimal untuk mendukung kebijakan ketahanan dan diversifikasi pangan, bahasan meliputi potensi lahan kering suboptimal untuk pengembangan tanaman pangan, kendala utama pemanfaatan lahan suboptimal untuk pengembangan tanaman pangan, dan berbagai inovasi teknologi pengelolaan lahan untuk pemberdayaan dan optimalisasi lahan kering suboptimal sebagai pendukung ketahanan pangan.

Kata kunci: Lahan Kering / Suboptimal / Diversifikasi / Pangan

Abstract. Food diversification policy can not be separated from dry land empowerment program, as dry land was a major producer of food alternatives to rice. However, the fertile dry land area is getting limited, so the suboptimal upland as an alternative. Therefore, it is necessary technological innovation to overcome suboptimal land limiting factor, so it can be utilized to the development of agriculture especially for food crops. This paper discusses the effort to empower sub-optimal dry land to support food diversification policy, the discussion includes the potency of sub-optimal upland for food crop development, the main constraints of suboptimal dry land for food crop development, and various technological innovation to empower land management and optimization of suboptimal upland as support food security.

Keywords: Dry Land / Sub-Optimal / Food / Diversification

PENDAHULUAN

P enyeragaman pangan nasional yang telah dilakukan sejak pemerintahan orde baru, menyebabkan ketahanan pangan masyarakat Indonesia sangat tergantung pada satu agroekosistem, yaitu lahan sawah. Pertambahan luas lahan sawah sangat sulit untuk dapat mengimbangi laju pertumbuhan penduduk, diperparah lagi oleh permasalahan alih fungsi lahan sawah yang sangat sulit dikendalikan. Pencetakan sawah baru juga berjalan sangat lambat (dengan kapasitas 6.000-20.000 ha pertahun) dengan rata-rata produktivitas sangat rendah (Wahyunto dan Shofiyati 2012), karena adanya gangguan terhadap tanah di saat proses pembangunan

sawah. Selain itu pencetakan sawah baru juga lebih banyak diarahkan ke lahan-lahan kering di luar pulau Jawa, yang umumnya tergolong lahan marginal seperti Ultisol, Oksisol dan Inceptisol (Setyorini *et al.* 2007). Di sisi lain, dengan rata-rata pertumbuhan penduduk 1,28% per tahun, maka diperlukan penambahan produksi pangan 1,3% pertahun (Wahyunto dan Shofiyati 2012). Akibatnya yang terjadi saat ini adalah ketergantungan akan pangan impor khususnya beras impor semakin meningkat (Kasryno dan Haryono 2010; Handoyo 2013), karena laju pertumbuhan penduduk lebih tinggi dibanding laju peningkatan pasokan pangan (khususnya beras) dalam negeri.

Gerakan Nasional Penganeekaragaman Pangan (GNPP) bisa menjadi solusi di tengah permasalahan

yang timbul akibat homogenitas pangan, gerakan ini merupakan suatu cara penyadaran kepada semua pihak akan pentingnya diversifikasi pangan (Handoyo 2013). Jika program diversifikasi pangan berhasil diterapkan, peranan lahan kering sebagai penghasil utama pangan alternatif (utamanya tanaman palawija) menjadi semakin penting. Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik (2012) sekitar 83,9% jagung, 55,2% kedelai, 82% kacang, dan 84% ubi kayu ditanam di lahan kering. Selanjutnya, yang menjadi tantangan ke depan, jika program diversifikasi pangan berhasil dilakukan adalah kesiapan lahan kering untuk lebih berperan dalam menopang kebutuhan pangan. Oleh karena itu untuk mendukung keberhasilan kebijakan ketahanan pangan melalui program diversifikasi pangan, maka opsi utama yang harus segera dilakukan adalah perbaikan produktivitas lahan kering, sehingga lahan kering bisa lebih berperan sebagai penyedia pangan. Program ekstensifikasi lahan pertanian di lahan kering perlu dilakukan jika pemanfaatan lahan pertanian yang ada sudah optimal, atau untuk menggantikan areal lahan pertanian yang dikonversi ke penggunaan lain.

Produktivitas lahan kering saat ini rata-rata masih relatif rendah atau belum optimal (Hidayat dan Mulyani 2005; Dariah dan Las 2010; Mulyani dan Sarwani 2013). Luasan lahan kering yang subur juga sudah semakin terbatas, sehingga pilihan jatuh pada lahan kering suboptimal, yaitu lahan yang secara alami mempunyai produktivitas rendah disebabkan oleh faktor internal (intrinsik) seperti bahan induk, sifat fisik, kimia dan biologi tanah, dan faktor eksternal seperti curah hujan dan suhu ekstrim (Las dalam Mulyani dan Sarwani 2013). Lahan yang akibat proses degradasi mempunyai tingkat kesuburan (baik fisik, kimia, dan/atau biologi) yang rendah sehingga tidak dapat mendukung pertumbuhan tanaman secara optimal, juga bisa dikategorikan sebagai lahan suboptimal (BBSDL 2012). Oleh karena itu diperlukan inovasi teknologi untuk menanggulangi faktor pembatas tersebut, sehingga lahan suboptimal dapat dimanfaatkan untuk pengembangan pertanian. Untuk lahan yang menjadi suboptimal akibat proses degradasi lahan, diperlukan perlakuan rehabilitasi lahan untuk meningkatkan produktivitasnya sehingga menjadi optimal.

Paper ini membahas tentang pemberdayaan lahan kering suboptimal untuk mendukung kebijakan diversifikasi pangan untuk mewujudkan ketahanan pangan, bahasan meliputi potensi lahan kering suboptimal untuk pengembangan tanaman pangan,

kendala utama pemanfaatan lahan kering suboptimal untuk pengembangan tanaman pangan, dan berbagai inovasi teknologi pengelolaan lahan untuk lebih memberdayakan dan mengoptimalkan lahan kering suboptimal sebagai pendukung ketahanan pangan.

POTENSI LAHAN KERING SUBOPTIMAL UNTUK PENGEMBANGAN TANAMAN PANGAN

Total luas lahan kering di Indonesia adalah sekitar 144,47 juta ha (Balitbang Pertanian 2014). Karena sifat alaminya, sekitar 82% dari total lahan kering tergolong sebagai lahan kering suboptimal. Lahan kering masam merupakan lahan kering suboptimal yang menempati luasan paling dominan, yaitu sekitar 107,36 juta ha (sekitar 74,3% dari total luas lahan kering), sedangkan sekitar 10,75 juta ha (7,4% dari total luas lahan kering) merupakan lahan kering beriklim kering. Luas lahan kering masam dan lahan kering iklim kering yang berpotensi untuk pengembangan pertanian masing-masing sekitar 62,64 dan 7,76 juta ha (Tabel 1). Mulyani dan Sarwani (2013) menyatakan bahwa luas lahan kering suboptimal yang sesuai dan tersedia untuk perluasan pertanian tanaman semusim sekitar 7,08 juta ha, sedangkan untuk tanaman tahunan sekitar 15,31 juta ha.

Tabel 1. Luas lahan kering suboptimal yang berpotensi untuk pengembangan pertanian

Table 1. *Suboptimal dry land area that potential for agricultural development (compared to acid dry land)*

Agroekosistem	Total luas*	Luas yang berpotensi untuk pertanian**
ha.....	
Lahan kering masam	107.357.633	62.647.199
Lahan kering iklim kering	10.750.881	7.762.543

Sumber:

^{*)}Balitbang Pertanian (2014); ^{**)Mulyani dan Sarwani (2013)}

Lahan kering masam digolongkan sebagai lahan kering suboptimal dengan pembatas utama kemasaman tanah, sedangkan pembatas utama dari lahan kering iklim kering adalah ketersediaan air (Rochayati dan Dariah 2012; BBSDL 2012, Mulyani dan Sarwani, 2013; Mulyani 2013). Lahan kering yang tidak termasuk dalam lahan kering masam dan lahan kering iklim kering, mempunyai peluang untuk dimasukan

sebagai lahan suboptimal jika proses degradasi lahan telah menyebabkan lahan tersebut tidak mampu lagi memproduksi secara optimal. Sehingga kemungkinan luas lahan kering suboptimal >82% dari total luas lahan kering. Oleh karena itu dari segi luasan, lahan kering suboptimal sangat berpotensi untuk dapat mendukung ketahanan pangan, namun demikian tidak seluruh lahan kering yang ada dapat dimanfaatkan untuk usahatani tanaman semusim, karena diperlukan prasyarat biofisik tertentu sehingga lahan dinyatakan sesuai untuk pengembangan tanaman pangan semusim. Di pihak lain ditemukan pula areal lahan kering yang secara biofisik sesuai, namun lahan tersebut telah digunakan untuk penggunaan lain, misalnya untuk perkebunan, pemukiman, sarana transportasi, atau statusnya berada dalam kawasan yang tidak boleh dialihfungsikan menjadi lahan pertanian, misalnya hutan lindung atau swaka margasatwa.

Lahan kering masam dengan penyebaran terluas di Pulau Sumatera, Kalimantan, Jawa, dan Papua mempunyai faktor pembatas utama pH tanah yang tergolong masam (<5,5). Kemasaman tanah yang tinggi berkaitan juga dengan tingginya kadar Al, yang menyebabkan fiksasi unsur fosfat (P) menjadi tinggi sehingga tidak tersedia untuk tanaman, kandungan basa-basa dapat tukar dan KTK juga rendah, kejenuhan basa <50%, kandungan besi dan mangan mendekati batas meracuni, dan miskin elemen biotik. Umumnya tanah di lahan kering masam termasuk ordo Entisols, Inceptisols, Ultisols, dan Oxisols. Ultisol (Podsolik Merah Kuning) merupakan ordo yang paling dominan (Adiningsih dan Sudjadi 1993; Soepardi 2001; Hidayat dan Mulyani 2005; Rochayati dan Dariah 2012; Hakim 2012). Tingkat kesuburan dan produktivitas lahan rendah, sehingga memerlukan input cukup tinggi (Murtalaksono dan Anwar 2014).

Areal lahan kering masam umumnya terdapat di daerah dengan curah hujan tinggi, ini menjadi faktor yang menguntungkan dari segi penyediaan air. Namun demikian, dengan wilayah bergelombang-bergunung, menyebabkan ancaman bahaya erosi menjadi lebih besar, sehingga selain faktor kemasaman tanah, faktor erosi seringkali menjadi pembatas utama pengembangan lahan kering masam untuk tanaman pangan semusim (Subagyo *et al.* 2002; Adimihardja dan Sutono 2005; Kurnia *et al.* 2005).

Meskipun mempunyai tingkat kesuburan yang relatif rendah, lahan kering masam merupakan lahan suboptimal yang sangat berperan dalam mendukung pembangunan pertanian di Indonesia, baik untuk

pengembangan tanaman perkebunan maupun tanaman pangan, utamanya jagung, kedelai, dan ubi kayu. Namun demikian rata-rata tingkat produktivitasnya belum optimal (Nurida dan Rachman 2012; Rochayati dan Dariah 2012), sehingga peluang untuk meningkatkan produktivitasnya masih terbuka. Oleh karena itu diperlukan masukan inovasi teknologi yang tepat, baik untuk menanggulangi faktor pembatas alamnya maupun untuk pencegahan degradasi lahan, sehingga usahatani bisa berkelanjutan.

Lahan kering iklim kering utamanya terdapat di Kepulauan Nusa Tenggara Timur, Nusa Tenggara Barat, Bali, Sulawesi, dan Maluku. Meskipun luasannya jauh lebih rendah dibanding lahan kering masam, namun potensinya untuk menjadi pendukung pengembangan pangan tidak bisa diabaikan. Umumnya tanah pada areal lahan kering iklim kering mempunyai tingkat kesuburan alami yang lebih baik dibanding lahan kering masam, dicirikan oleh pH tanah >5,5, kejenuhan basa >50%, Kapasitas tukar kation sedang-tinggi (Tabel 2). Lahan kering iklim kering, tanahnya umumnya terdiri dari ordo Inceptisol, Vertisol, Molisol, dan Alfisol (Hidayat dan Mulyani 2005; BBSDLP 2012).

Ketersediaan air merupakan faktor pembatas utama agroekosistem ini untuk pengembangan pertanian khususnya tanaman pangan. Curah hujan tahunan yang kurang dari 2.000 mm th⁻¹ dengan bulan basah hanya 3-4 bulan (Mulyani 2013; Mulyani dan Sarwani 2013), menyebabkan ketersediaan air yang bersumber dari air hujan hanya cukup untuk satu musim tanam. Curah hujan tahunan yang rendah, juga tidak menyebabkan lahan kering iklim kering terhindar dari degradasi lahan yang disebabkan oleh erosi. Curah hujan yang jatuh dalam waktu yang relatif singkat, menghasilkan intensitas hujan yang tinggi sehingga daya rusaknya menjadi lebih besar (Adimihardja dan Sutono 2005; Dariah *et al.* 2013a). Laju degradasi lahan yang tinggi dicerminkan oleh kandungan bahan organik yang sangat rendah (<1%), yang ditemukan di beberapa lokasi lahan kering iklim kering (Dariah *et al.* 2013b). Kondisi solum tanah yang dominan dangkal di wilayah lahan kering beriklim kering (BBSDLP 2012; Dariah *et al.* 2013b; Mulyani dan Sarwani 2013; Mulyani 2013), menyebabkan tingkat erosi yang bisa ditoleransi (*tolerable soil loss*) menjadi sangat rendah. Dengan demikian aspek pencegahan erosi menjadi sangat penting untuk menjaga keberlanjutan usahatani. Faktor pembatas lainnya yang sering ditemukan pada lahan kering beriklim kering adalah persentase batuan

di permukaan tanah yang tergolong tinggi (Mulyani 2013).

Lahan pertanian di areal lahan kering iklim kering, khususnya di kepulauan Nusa Tenggara dominan diusahakan untuk usahatani tanaman pangan semusim seperti jagung dan kacang hijau. Lain halnya dengan areal lahan kering masam, persaingan penggunaan lahan dengan tanaman perkebunan sangat tinggi. Produksi tanaman, misalnya jagung pada lahan kering iklim kering juga umumnya relatif lebih tinggi dibanding lahan kering masam karena kesuburan tanahnya sangat mendukung, namun demikian rata-rata produksi yang dicapai saat ini masih lebih rendah dibanding potensinya. Aspek pengelolaan air merupakan kunci utama peningkatan produktivitas lahan pada lahan kering iklim kering, dengan tetap memperhatikan aspek keberlanjutannya, di antaranya aspek pengelolaan hara dan bahan organik, serta pencegahan erosi.

Degradasi lahan merupakan permasalahan yang umum dihadapi lahan kering suboptimal baik di wilayah beriklim basah yang didominasi lahan kering masam maupun di wilayah beriklim kering. Erosi merupakan salah satu penyebab utama degradasi lahan kering. Oleh karena itu, aplikasi teknologi konservasi juga merupakan syarat utama tercapainya keberlanjutan produktivitas lahan kering iklim kering.

KEBUTUHAN AIR SELAMA FASE PERTUMBUHAN TANAMAN SEMUSIM

Kebutuhan Air untuk Pertumbuhan Tanaman Pangan Semusim di Lahan Kering (Dibanding Padi Di Lahan Sawah)

Dalam siklus hidup tanaman, mulai dari perkecambahan sampai panen, tanaman selalu membutuhkan air. Tidak satupun proses metabolisme tanaman dapat berlangsung tanpa air. Besarnya kebutuhan air pada setiap fase pertumbuhan selama siklus hidup tanaman tidak sama. Hal ini berhubungan langsung dengan proses fisiologis, morfologis, dan kombinasi kedua faktor tersebut dengan faktor-faktor lingkungan.

Sebagai contoh, kebutuhan air tanaman padi adalah jumlah total air yang dikonsumsi tanaman untuk penguapan (evaporasi), transpirasi, dan aktivitas metabolisme tanaman. Kebutuhan air tanaman antara lain dapat ditetapkan berdasarkan Metode FAO

(Doorenbos dan Kassam 1979) berdasarkan persamaan sebagai berikut:

$$ET_c = K_c \times ET_o$$

dimana :

ET_c : evapotranspirasi tanaman

ET_o : evapotranspirasi referensi

K_c : koefisien tanaman

Pada tanaman dengan periode pertumbuhan (umur) lebih lama, memiliki ET_o dan ET_c lebih tinggi daripada tanaman dengan periode pertumbuhan lebih pendek. ET_o dan ET_c pada musim kemarau juga lebih besar daripada pada musim hujan (FAO 2005). Kisaran kebutuhan air untuk padi sawah biasanya lebih tinggi dari tanaman pangan lain karena kebutuhan air selama puncak musim hujan sangat rendah, sementara pada saat puncak musim kemarau (manakala tidak ada hujan) kebutuhannya sangat tinggi. Sistem produksi padi dengan cara tradisional selain boros menggunakan air juga menyebabkan degradasi lingkungan dan mengurangi efisiensi penggunaan pupuk.

Dibandingkan dengan budidaya tanaman padi sawah, kebutuhan air tanaman semusim di lahan kering lebih rendah. Tanaman padi sawah memerlukan 500-900 mm musim⁻¹ sedangkan tanaman pangan lainnya berkisar 350-800 mm musim⁻¹ (Doorenbos dan Kassam 1979). Di Thailand kebutuhan air untuk padi gogo/tadah hujan dan padi sawah lebih tinggi lagi, yaitu sekitar 4.300 – 6.100 m³ ha⁻¹ musim⁻¹, selama masa pertumbuhan padi 120 hari (Polson *et al.* 2004). Di Indonesia dengan curah hujan >200 mm minimal 4 bulan secara berurutan berpotensi untuk pertanaman padi gogo (Toha 2012). Hal ini menunjukkan bahwa proses produksi tanaman pangan di lahan kering lebih efisien dalam penggunaan air.

Aerobic rice, merupakan tanaman hasil persilangan antara padi gogo toleran kekeringan dengan padi sawah potensi hasil tinggi. Varietas ini dapat tumbuh pada tanah dengan kandungan air pada atau di bawah kapasitas lapang dan memberikan hasil 4-6 t ha⁻¹ dengan aplikasi pemupukan pada kondisi air tanah tersebut (Parthasarathi *et al.* 2012). *Aerobic rice* dapat menghemat air 50% dibandingkan padi sawah (Huaqi *et al.* 2003), sehingga kebutuhan air tanamannya lebih rendah dari padi sawah (Tabel 2). Berdasarkan karakteristik tersebut maka *Aerobic rice* berpeluang untuk dikembangkan di lahan kering.

Kebutuhan air untuk beberapa jenis tanaman semusim lahan kering pada setiap fase pertumbuhannya disajikan pada Tabel 3. Data pada tabel tersebut menunjukkan bahwa Kebutuhan air per hari untuk fase vegetatif dan generatif relatif sama, namun karena masa generatif relatif lebih panjang dibanding masa vegetatif, maka kebutuhan air total pada masa generatif menjadi lebih tinggi. Kisaran kebutuhan air untuk setiap jenis tanaman per musim juga relatif lebar, disebabkan perbedaan umur tanaman.

Tabel 2. Perbandingan kebutuhan air antara padi sawah dengan *aerobic rice*

Table 2. Comparison the water needs between lowland rice and *aerobic rice*

Aktivitas	Kebutuhan air	
	Padi sawah	<i>Aerobic rice</i>
	(mm musim ⁻¹)	
Persiapan lahan	150-300	100
Evaporasi	200	100
Transpirasi	400	400
Seepage dan perkolasi	500-1500	335
Kehilangan selama aplikasi irigasi (efisiensi 60%)	-	335
Total	1650-3000	935

Sumber: Tuong and Bouman 2003 dalam Lal et al. 2013

Pola Tanam di Lahan Kering Suboptimal

Mengacu kepada kebijakan pembangunan pertanian, pengembangan pola tanam dan diversifikasi usahatani memiliki justifikasi yang kuat, sejalan dengan peningkatan jumlah penduduk yang semakin pesat, yang membawa konsekuensi peningkatan kebutuhan pangan. Pengembangan intensifikasi palawija dan

hortikultura perlu dilakukan secara simultan dan terpadu dengan budidaya tanaman padi, khususnya padi lahan kering.

Strategi yang dapat dilakukan untuk mengembangkan pola tanam dan diversifikasi usahatani di lahan kering yang terkendala dengan keterbatasan ketersediaan air antara lain: (1) memanfaatkan curah hujan dan irigasi suplemen dengan komoditas yang sesuai, sehingga lahan yang tadinya hanya ditanami sekali tanam dapat menjadi dua atau tiga kali tanam (meningkatkan intensitas tanam); (2) memilih pola tanam yang sesuai dengan karakteristik wilayah, seperti pola tumpangsari untuk mengurangi risiko kegagalan panen dan meningkatkan produksi dibandingkan dengan pola monokultur; dan (3) menggunakan paket teknologi usahatani yang sesuai dengan situasi iklim dan tanah di lahan kering, seperti kombinasi penggunaan mulsa dengan varietas berumur genjah dan hemat air.

Tumpangsari padi gogo dengan jagung yang ditanam pada awal musim hujan, tanaman substitusi padi gogo seperti kacang tanah atau kedelai, pola tanam lorong (*alley cropping*) dengan tanaman pagar (*hedgerow*) seperti legum, buah-buahan atau tanaman industri, pola tanam dengan mengikutsertakan tanaman perkebunan dan ternak dalam sistem usaha tani lahan kering juga merupakan upaya untuk meningkatkan produktivitas lahan kering. Atman (2006) menyatakan bahwa pada lahan kering, kedelai ditanam sesudah padi gogo atau jagung. Kedelai tidak memiliki preferensi terhadap jenis tanah tertentu, sedikit membutuhkan air dan lebih produktif ditanam pada musim kemarau. Waktu tanam ini dapat juga disesuaikan dengan kondisi iklim setempat. Kedelai di lahan sawah pada umumnya ditanam pada musim kemarau, sedangkan di lahan kering pada musim hujan.

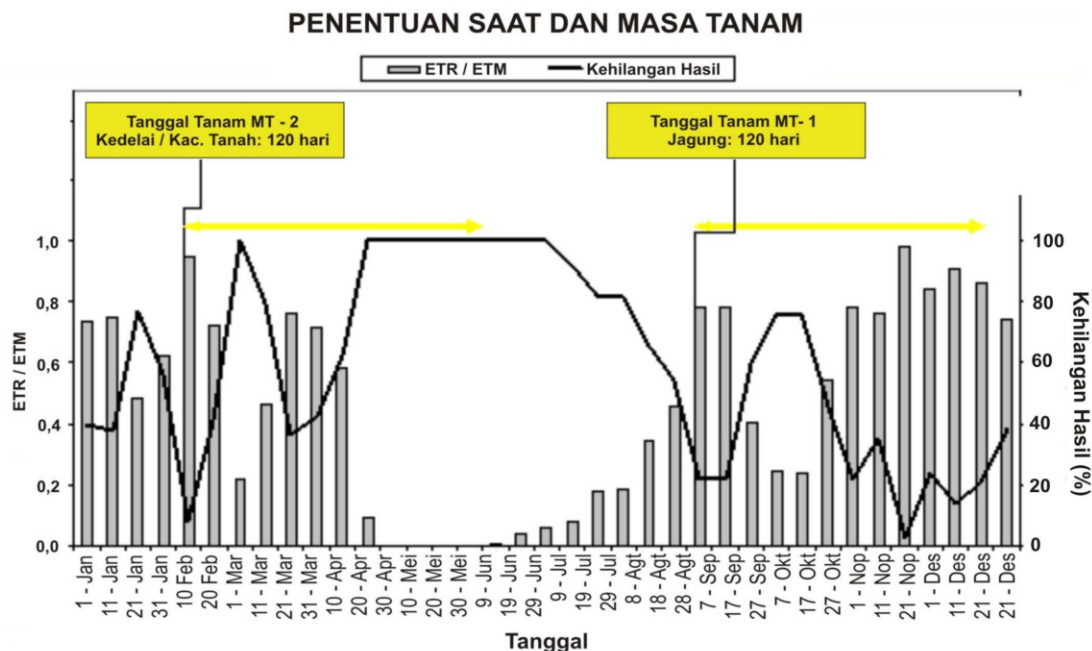
Tabel 3. Kebutuhan air pada berbagai fase pertumbuhan tanaman palawija

Table 3. Water needs in various growth phases of upland food crops

Jenis Tanaman		Kebutuhan air (mm) dan umur tanaman setiap fase (hari)				
		Tunas	Vegetatif	Pembungaan	Pembentukan buah/umbi	Pematangan
Kentang	KA (mm hari ⁻¹)	2,8	4,6	5,5	5,0	5,0
	UT (hari)	0-25	25-60	61-100	101-130	131-140
Jagung	KA (mm hari ⁻¹)	2,8	5,6	7,7	6,3	4,1
	UT (hari)	0-20	21-50	51-65	66-150	106-120
Kacang Tanah	KA (mm hari ⁻¹)	3,4	5,4	6,7	5,4	4,0
	UT (hari)	0-15	16-45	46-80	81-110	111-120
Kedelai	KA (mm hari ⁻¹)	1,5	4,7	6,5	4,7	4,1
	UT (hari)	0-20	21-55	56-100	101-110	111-120

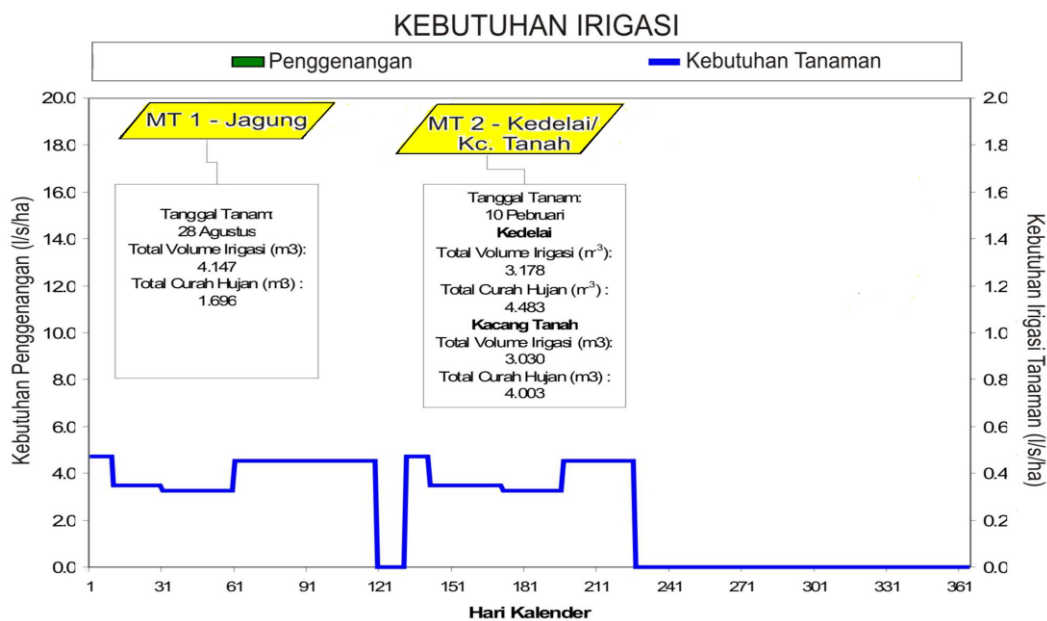
Sumber : Data diolah dari Dorenboss dan Kassam dalam Agus et al. (2003)

Keterangan : KA: Kebutuhan air; UT: Umur tanaman



Gambar 1. Pola tanam di lahan tegalan berdasarkan tanggal tanam terbaik

Figure 1. Upland cropping patterns based on the precise planting date



Gambar 2. Kebutuhan irigasi di lahan tegalan

Figure 2. Irrigation needs at food crop upland area

Hasil penelitian di kecamatan Semin, Kabupaten Gunung Kidul, DIY menunjukkan bahwa berdasarkan analisis neraca air tanaman, kebutuhan air tanaman jagung, kedelai, dan kacang tanah selama pertumbuhannya berturut-turut sebesar 239, 246, dan 184 mm. Irigasi suplementer tersebut diberikan 2-3 mm hari⁻¹ tergantung kejadian hujan. Waktu pemberian

irigasi dapat dilakukan 2-3 kali sehari dengan volume pemberian air sebanyak 4-9 mm hari⁻¹. Pola tanam dan kebutuhan irigasi pada lahan tegalan di kecamatan Semin berdasarkan penentuan tanggal tanam terbaik disajikan pada Gambar 1 dan 2. Penanaman jagung dilakukan di akhir kemarau (Agustus dasarian III) agar dapat melakukan tanam kedelai setelahnya.

Penanaman kedelai dilakukan pada Pebruari dasarian I. Metode penentuan masa tanam dan pemberian irigasi telah dilakukan pada berbagai agroekosistem seperti lahan kering dataran rendah iklim kering, lahan kering dataran rendah iklim basah, lahan kering dataran tinggi iklim kering, dan lahan kering dataran tinggi iklim basah (Heryani *et al.* 2005; 2006).

INOVASI TEKNOLOGI UNTUK PEMBERDAYAAN LAHAN KERING SUBOPTIMAL SEBAGAI PENOPANG KETAHANAN DAN DIVERSIFIKASI PANGAN

Aplikasi inovasi teknologi merupakan syarat mutlak dalam memberdayakan lahan kering suboptimal, baik dalam penanggulangan faktor pembatas lahan maupun dalam meningkatkan efisiensi penggunaan sumberdaya lahan. Inovasi teknologi pengelolaan lahan yang menjadi penopang utama optimalisasi lahan suboptimal adalah teknologi pengelolaan air dan peningkatan kualitas tanah.

Peranan Inovasi Pengelolaan Air dalam Meningkatkan IP dan Perbaikan Pola Tanam

Sesungguhnya ketersediaan air bukan hanya menjadi faktor pembatas optimalisasi lahan pada lahan kering iklim kering, pada lahan kering di wilayah beriklim basah ketersediaan air juga seringkali menjadi faktor pembatas. Pada musim hujan, air seringkali berlebih namun pada musim kemarau sering terjadi kekurangan air, sehingga pada musim kemarau sebagian besar lahan kering di wilayah beriklim basah dalam kondisi bera. Penanaman palawija terutama di Jawa seringkali masih tergantung pada lahan sawah. Oleh karena itu, pengelolaan air merupakan aspek penting untuk mengoptimalkan fungsi lahan kering sebagai pemasok komoditas pangan.

Teknologi panen hujan dan aliran permukaan

Sampai saat ini sudah banyak teknologi yang dihasilkan untuk pengembangan lahan kering, namun sebagian besar pendekatannya pada budidaya dengan penekanan pada aspek tanah dan budidaya tanaman. Pengelolaan sumberdaya air lebih difokuskan untuk mengkonservasi lengas tanah (*soil moisture*) dan bukan mengkonservasi air, serta menambah cadangan air

tanah (*water storage*) (Irianto *et al.* 2001). Teknologi panen hujan melalui embung sudah digunakan sebagai salah satu sumber irigasi di lahan kering ataupun pada saat musim kemarau sejak tahun 1980-an (Fagi dan Syamsiah 1992; Syamsiah 1990; Syamsiah dan Fagi 1993).

Pemilihan jenis teknologi panen hujan dan aliran permukaan yang dapat diaplikasikan tergantung kepada jumlah dan distribusi curah hujan, jumlah cadangan air yang diperlukan, tipe dan ukuran daerah tangkapan, karakteristik tanah atau batuan. Selain itu kapasitas penampungan yang akan dibuat juga sangat ditentukan oleh pola curah hujan lokal, koefisien aliran permukaan, tingkat kebutuhan air, ketersediaan dana, dan kemampuan teknis yang dimiliki (Gould 2003).

Embung, kedung (embung mikro), lebung, dam-dam atau waduk penampung air, sumur renteng, dan dam parit merupakan sarana untuk menampung air hujan yang telah banyak dibangun di Indonesia, baik di lahan kering maupun lahan tadah hujan. Beberapa model bangunan panen hujan disajikan pada Gambar 3. Konservasi air dengan cara membuat embung dan waduk-waduk sejenisnya pada umumnya dilakukan untuk meningkatkan ketersediaan air, yang berdampak terhadap produksi pertanian, produktivitas lahan, dan pendapatan petani. Menurut Irianto (2002a) panen hujan dan aliran permukaan selain dapat meningkatkan keberlanjutan sistem usahatani lahan kering juga dapat menekan laju erosi, sedimentasi, dan bahkan risiko banjir apabila aliran permukaan yang dipanen cukup signifikan. Lebih jauh, hasil panen hujan dan aliran permukaan dalam jumlah yang banyak dapat dimanfaatkan dalamantisipasi anomali iklim El-nino atau untuk memperpanjang masa tanam di akhir musim hujan (Irianto 2002b).

Sejak tahun 2001, Badan Litbang Pertanian telah mengembangkan teknologi panen hujan-aliran permukaan melalui dam parit (*channel reservoir*). Dam Parit merupakan salah satu teknik memanen air hujan dan aliran permukaan dengan cara menahan aliran air pada suatu aliran air/alur sungai/parit dan membendungnya sehingga air yang tertampung dapat dipergunakan sebagai irigasi suplemen pada saat musim kemarau. Selain itu dam parit berfungsi untuk mengurangi kecepatan aliran air, menurunkan debit puncak dan memperpanjang waktu respon pada suatu daerah aliran sungai, dan mengurangi sedimentasi di wilayah hilir.



Gambar 3. Beberapa bangunan panen hujan untuk sumber air irigasi suplemen

Figure 3. Buildings of harvesting rain water storage for supplementary irrigation

Dam parit sebagai sumber irigasi telah dikembangkan di beberapa wilayah lahan kering seperti Jawa Barat, Jawa Tengah, Daerah Istimewa Yogyakarta, Jawa Timur, Sulawesi Tenggara, dan Sulawesi Selatan (Irianto 2001a, 2001b; Pujilestari *et al.* 2002; Karama 2003; Sutrisno *et al.* 2003; CIRAD 2004; Heryani *et al.* 2001, 2002a, 2002b, 2003, 2005, 2006, 2010, 2012; Sawijo *et al.* 2008). Hasil pengamatan menunjukkan bahwa lahan kering secara potensial dapat ditingkatkan produktivitasnya apabila: (1) masalah fluktuasi ketersediaan air dapat diminimalkan, (2) kapasitas tampung air DAS baik secara alamiah maupun artifisial dapat dimaksimalkan, (3) efisiensi penggunaan air dan jenis komoditas yang diusahakan dapat dioptimalkan (Heryani *et al.* 2003).

Dam parit bertingkat (*channel reservoir in cascade*) yakni membangun beberapa dam parit pada satu alur sungai telah dilakukan di Jawa Barat, DI Yogyakarta, dan Sulawesi Selatan. Dengan dibangunnya dam parit bertingkat, curah hujan dan aliran permukaan yang dapat dipanen oleh dam parit dapat meningkatkan luas tanam dan produksi padi serta mengubah sistem budidaya padi gogo menjadi sistem budidaya padi sawah dan palawija yang ditanam pada MK I dan MK II.

Aplikasi teknologi panen air juga dapat merubah luas dan indeks pertanaman. Hasil penelitian dam parit bertingkat di DAS mikro Bunder, Gunungkidul, DIY menunjukkan bahwa lahan pertanian yang pada awalnya ditanami padi/jagung/ubikayu-kacang tanah-bera, setelah terdapat irigasi suplemen yang berasal dari dam parit terdapat perubahan pola tanam menjadi padi-padi-palawija/sayuran.

Di Jawa Tengah penyediaan sarana irigasi suplemen dari dam parit dapat meningkatkan produksi pipilan jagung 65% dibandingkan sebelum aplikasi

teknologi panen hujan dan aliran permukaan. Selain itu terdapat perubahan jenis tanaman yang diusahakan dari tanaman pangan menjadi bawang merah, cabai, melon, dan jahe (Irianto *et al.* 2001a).

Hasil penelitian di Desa Jogjogan, Kecamatan Cisarua, Kabupaten Bogor, Jawa Barat menunjukkan dam parit yang dibangun dengan kapasitas 100 m³ dapat meningkatkan areal tanam sebanyak 4 ha. Irigasi dari dam parit dapat mencukupi kebutuhan air tanaman yang ada di musim kemarau, yang selanjutnya lahan pertanian di wilayah penelitian dapat ditanami sepanjang tahun dengan peningkatan luas tanam 4,11 ha di musim kemarau (Sutrisno *et al.* 2003). Manfaat embung dalam meningkatkan indeks pertanaman dan hasil tanaman disajikan pada Tabel 4.

Hasil pengamatan terhadap 3 buah dam parit bertingkat di Desa Semin D.I. Yogyakarta menunjukkan terdapat perubahan luas target irigasi dan perubahan pola tanam di desa Semin dari padi-padi-bera dan palawija-palawija-bera menjadi padi-padi-palawija dan padi-palawija-palawija (Heryani *et al.* 2006). Untuk mengetahui efektifitas dam parit dalam mengairi lahan pertanian perlu dilakukan analisis kecukupan air pada dam parit dalam memenuhi kebutuhan air irigasi suplemen pada musim kemarau. Sebagai salah satu contoh hasil analisis kecukupan air dam parit dalam mengairi target irigasi disajikan pada Gambar 4.

Dari Gambar 4 diketahui bahwa ketersediaan air di dam parit 1 dan 2 tidak dapat mencukupi seluruh kebutuhan air irigasi di daerah target seluas 7 ha, namun di dam parit 3 air masih berlimpah dan berpotensi untuk menambah luasan target irigasi. Cadangan air di dam parit 1 dan 2 hanya dapat memenuhi kebutuhan air di awal tanam saja, sementara di pertengahan dan menjelang panen, tanaman akan

mengalami kekeringan karena ketiadaan suplai air. Agar cadangan air di dam parit bisa dimanfaatkan secara lebih efektif perlu dilakukan beberapa alternatif cara yaitu: mengurangi luasan target irigasi, melakukan pergiliran tanam, menanam tanaman berumur pendek (misalnya sayuran), dan menanam tanaman yang hemat air.

Apabila terdapat penurunan daerah target irigasi (DI) dam parit 1 dan 2 menjadi 2,4 ha, dan DI dam parit 3 ditambah luasannya dari 2,5 ha menjadi 4,85 ha, maka cadangan air di dam parit dapat memenuhi kebutuhan air sepanjang musim kemarau (Gambar 5). Pada dam parit 3 yang hanya memiliki DI seluas 2,5 Ha, kelebihan cadangan air dapat dipompa untuk mengairi DI di dam parit 1 dan 2.

Tabel 4. Manfaat embung dalam meningkatkan indeks pertanaman dan hasil tanaman di lahan kering Selopamiro, Bantul, DI Yogyakarta

Table 4. Benefits of water storage for increasing cropping index and its yield in dryland at Selopamiro, Bantul, Yogyakarta

Penggunaan lahan	Tanpa embung	Dengan embung
Lahan kering (<i>upland</i>)		
- Pola Tanam	Kacang tanah-ubikayu-bera	Kacang tanah-jagung +ubikayu atau Kacang tanah-jagung +sayuran
-Hasil (setara gabah)	3,50 t ha ⁻¹ musim ⁻¹	4,3 – 6,3 t ha ⁻¹ musim ⁻¹
Tegalan/tadah hujan (<i>rainfed</i>)		
-Pola Tanam	Padi-bera	Padi-tembakau-jagung
-Hasil (setara gabah)	4,2 t ha ⁻¹ musim ⁻¹	11,7 t ha ⁻¹ musim ⁻¹

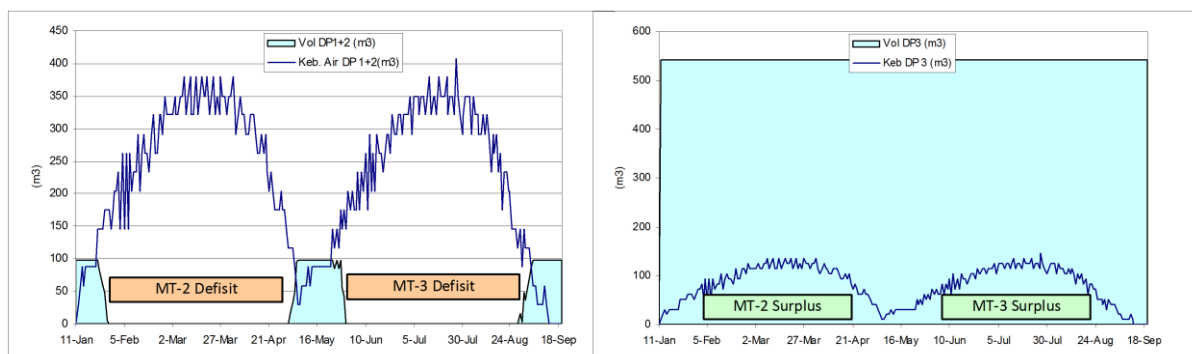
Sumber: Irawan (1999) dalam Kurnia (2004)

Teknologi Irigasi Suplemen untuk Peningkatan Water Use Efficiency (WUE)

Pengairan atau irigasi merupakan pemberian air pada tanah dan tanaman untuk memenuhi kebutuhan air tanaman selama siklus pertumbuhannya. Prinsip pemberian air pada pertanian lahan kering khususnya untuk tanaman pangan adalah pemberian air yang efisien dan efektif serta dapat memberikan hasil yang maksimal. Untuk meningkatkan efisiensi penggunaan air dan tetap memberikan hasil tanaman yang maksimal, pemberian air dilakukan sesuai dengan kebutuhan air tanaman pada setiap fase pertumbuhan tanaman dengan volume, interval, dan waktu pemberian yang tepat.

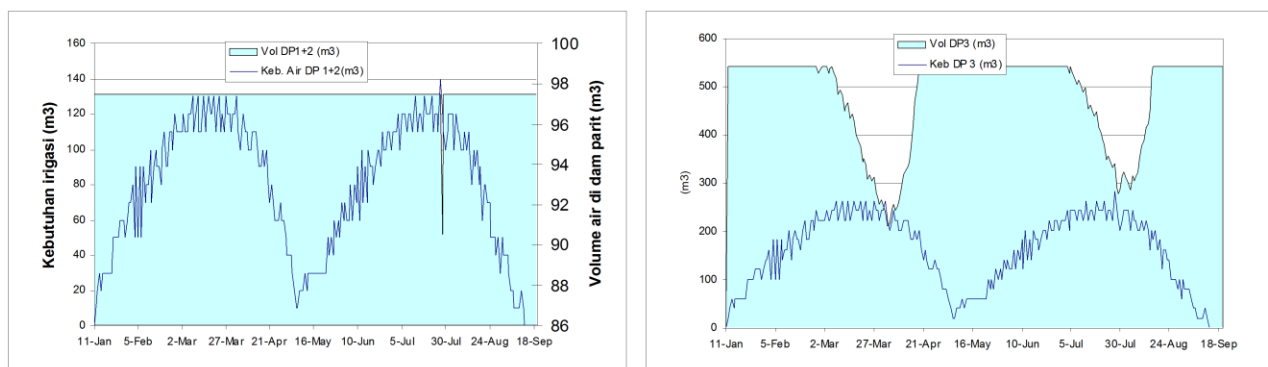
Di lahan kering dikenal adanya irigasi suplemen yang merupakan irigasi tambahan yang diberikan pada tanaman untuk menutupi kekurangan air yang dibutuhkan tanaman. Air yang diberikan dapat berasal dari air hujan atau sumber lain seperti waduk, embung, dam parit, dan lain-lain. Menurut Haryati (2011), dengan menggunakan teknologi irigasi suplemen, musim tanam (untuk tanaman semusim) pada sebagian besar wilayah Indonesia tidak terbatas hanya pada musim hujan saja, tetapi bisa diperpanjang sampai pada pertengahan musim kemarau. Jika teknologi panen hujan dan hemat air, serta irigasi suplemen secara teknis dan sosial ekonomis dapat diterapkan, maka masalah kekurangan air, sebagai akibat perubahan iklim akan dapat diatasi.

Secara garis besar terdapat empat cara pemberian air (Schwab *et al.* 1981 dalam Kurnia 2004) yaitu: 1) pemberian air di permukaan tanah (*surface irrigation*), 2) pemberian air di bawah permukaan tanah (*subsurface irrigation*), 3) penyiraman (*sprinkle irrigation*), dan 4) irigasi tetes (*drip or trickle irrigation*). Pemberian air di bawah permukaan sangat sesuai untuk irigasi di lahan kering karena menggunakan pipa yang dibenamkan



Gambar 4. Fluktuasi volume air di dam parit dan kebutuhan air di daerah target irigasi

Figure 4. Fluctuation of water volume at channel reservoir and water needs in target area of irrigation



Gambar 5. Distribusi volume air di dam parit dan kebutuhan air di daerah target irigasi melalui pengaturan luas target irigasi

Figure 5. Distribution of water volume in the channel reservoir and water needs at irrigation target area by setting an Irrigation Command Target Areas

atau pipa tertutup sehingga mengurangi kehilangan air karena evapotranspirasi. Teknik dengan penyiraman juga dianggap efisien karena langsung diberikan ke atas tanaman. Menurut Kurnia (2004) pada tanah bertekstur kasar, efisiensi pemakaian air dengan penyiraman dua kali lebih tinggi dari pemberian air permukaan. Irigasi tetes juga dapat menjadi pilihan karena air diberikan dengan kecepatan rendah dan langsung diberikan di sekitar tanaman dengan menggunakan *emitter*, sehingga penggunaan air menjadi efisien. Menurut BBSDLP (2010), irigasi tetes berguna untuk memanfaatkan ketersediaan air yang sangat terbatas secara efisien dan sesuai diterapkan pada lahan kering beriklim kering dengan topografi relatif landai.

Lahan kering memiliki karakteristik ketersediaan air terbatas, dengan demikian untuk mendapatkan produktivitas tanaman yang maksimal, sistem pertanian (*cropping system*) yang dapat meningkatkan cadangan air dan efisiensi penggunaan air (*Water Use Efficiency*, WUE), serta dapat menekan erosi merupakan hal yang sangat penting (Machado *et al.* 2008). WUE menggambarkan banyaknya hasil (produksi) tanaman per satuan air yang dipergunakan (van Duivenbooden *et al.* 2000; Haryati 2011). Menurut van Duivenbooden *et al.* (2000), WUE juga menggambarkan hasil tanaman per unit curah hujan atau total biomas per unit air irigasi. WUE dapat diketahui dalam skala harian, mingguan, musiman dan tahunan. Selanjutnya menurut Haryati (2011), hasil penelitian lain menyebutkan terdapat beberapa teknologi untuk memperbaiki WUE yaitu: konfigurasi lahan (gulud dan selokan, bedengan, *border strips*, penterasan, surjan, teknik pemanenan air), praktek agronomis (cara pengolahan tanah), sistem pertanian lorong (*alley*

cropping), pengendalian gulma, sistem *intercropping*, *strip cropping* / *vegetative barriers*, dan penggunaan mulsa.

Peningkatan Kualitas Tanah

Perbaikan sifat kimia tanah

Peningkatan kualitas tanah pada lahan kering suboptimal diprioritaskan untuk menanggulangi faktor pembatas utama terlebih dahulu. Misalnya untuk lahan kering masam, penanggulangan kemasaman tanah harus menjadi prioritas. Kemasaman tanah yang tinggi pada lahan kering masam dapat ditanggulangi melalui pemberian kapur. Kapur yang diberikan ke dalam tanah akan mengikat unsur Al dan Fe, yang jika kadar kedua unsur ini berlebih akan bersifat racun bagi tanaman. Peningkatan pH tanah juga akan membebaskan hara P dan K yang semula terikat menjadi bebas dan tersedia bagi tanaman. Dosis kapur didasarkan kepada batas kritis toleransi tanaman terhadap unsur racun tersebut, khususnya untuk Al. Batas kritis toleransi tanaman terhadap aluminium (dinyatakan dalam % kejenuhan aluminium) berbeda-beda, yaitu sebagai berikut: padi gogo 70%, kacang tunggak 55%, jagung 30%, kacang tanah 30%, kedelai 15% dan kacang hijau 5% (Rachman dan Dariah 2008).

Beberapa hasil penelitian menunjukkan penggunaan pupuk organik juga dapat mensubstitusi kebutuhan kapur pada lahan kering (Basri dan Zaini 1992). Hasil penelitian Subiksa *et al.* (2014) menunjukkan formula pembenah tanah berbahan dasar kompos dari berbagai sumber bahan organik (diperkaya senyawa humat) efektif dalam meningkatkan pH tanah Ultisol, Lampung (Gambar 6). Selain diformulasi dari bahan organik yang sudah banyak dimanfaatkan petani

seperti kompos pupuk kandang, ternyata bahan organik yang bersumber dari tanaman yang banyak tumbuh di lahan kering masam seperti harendong (*Mallstoma sp.*) dan Gamal (*Glyricideae sp.*), juga dapat digunakan sebagai bahan baku amelioran dan efektif meningkatkan pH. Sumber bahan organik lainnya seperti tandan buah kosong (tankos) dan blotong (hasil samping dari proses pengolahan tebu) juga mempunyai manfaat yang sama. Keuntungan dari menggunakan amelioran berasal dari bahan organik adalah kemudahan mendapatkan bahan baku, karena bisa bersifat insitu.

Untuk bahan organik yang sulit lapuk, seperti sekam padi, tempurung kelapa sawit, ranting kayu, kulit coklat, efektivitasnya sebagai pembenah tanah lebih tinggi jika diolah terlebih dahulu menjadi biochar (arang). Pada lahan kering masam, selain terbukti efektif memperbaiki sifat fisik tanah, juga efektif dalam meningkatkan pH tanah (Nurida *et al.* 2009, 2012; Nurida dan Rachman 2013).

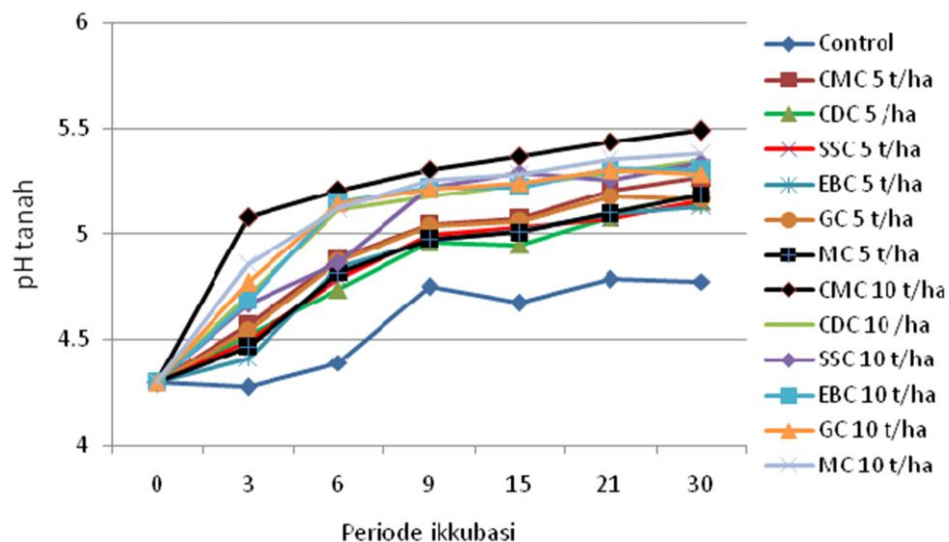
Pada lahan kering iklim kering, pH tanah berada pada tingkat netral-alkalin, pada kondisi ini permasalahan yang disebabkan oleh terganggunya keseimbangan hara muncul, diantaranya ditunjukkan oleh rasio K/Ca yang rendah, sehingga ketersediaan K untuk tanaman menjadi terganggu. Pada kondisi pH

relatif tinggi ketersediaan P juga sering terganggu karena terikat dalam bentuk Ca-P, meskipun kekuatan ikatannya tidak sekuat Al-P pada tanah masam. Senyawa organik yang terkandung dalam bahan organik dapat melemahkan ikatan unsur P oleh kalsium, sehingga menjadi tersedia untuk tanaman.

Perbaikan sifat fisik tanah

Meskipun bukan merupakan faktor pembatas utama lahan kering suboptimal, kondisi sifat fisik tanah yang buruk banyak ditemukan pada lahan kering suboptimal, baik pada lahan kering masam maupun lahan kering iklim kering, terutama yang telah dikelola secara intensif. Kemerosotan sifat fisik tanah banyak disebabkan oleh penurunan kadar C-organik tanah setelah lahan dikelola secara intensif.

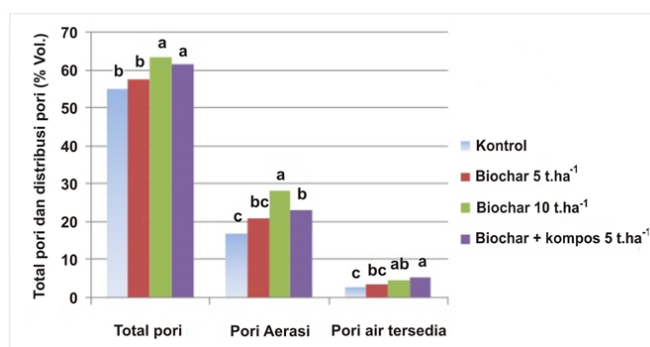
Penggunaan bahan pembenah tanah yang bersumber dari bahan organik sangat bermanfaat untuk perbaikan sifat fisik tanah. Rehabilitasi sifat fisik tanah pada lahan kering mempunyai arti penting dari aspek peningkatan kemampuan tanah memegang air. Hal ini bukan hanya dibutuhkan pada kondisi air terbatas seperti pada lahan kering iklim kering, pada lahan kering beriklim basah peningkatan kemampuan tanah memegang air juga sangat penting untuk diperhatikan. Beberapa hasil penelitian menunjukkan efektivitas



Gambar 6. Pengaruh formula pembenah tanah berbahan dasar kompos: pakan ayam (CMC), pakan sapi (CDC), tankos sawit (EBS), Blotong (SSC), Harendong (MC) dan Gamal (GC) terhadap pH tanah pada Ultisol Lampung (Sumber: Subiksa *et al.* 2014).

Figure 6. The effect of soil conditioner formula based of composts of chicken manure (CMS), cow manure (CDS), empty palm fruit bunches (EBS), sugar cane sludge (SSC), Malastoma (MC), and Glyricideae (GC) on soil pH at Ultisol Lampung (Source: Subiksa *et al.* 2014).

bahan organik baik dalam bentuk kompos atau biochar (Dariah *et al.* 2014b; Novak *et al.* 2009; Gaskin *et al.* 2007; Glaser *et al.* 2002) dalam meningkatkan kemampuan tanah memegang air. Penggunaan biochar di lahan kering iklim kering juga efektif dalam memperbaiki struktur tanah (Dariah *et al.* 2014b), sehingga suplai udara dan pergerakan air dapat berjalan dengan baik, yang berdampak pada lingkungan tanah menjadi kondusif baik untuk mendukung pertumbuhan tanaman maupun perkembangan dan aktivitas mikroorganisme tanah. Gambar 7 menunjukkan efek penggunaan biochar dan kompos pukan terhadap perbaikan sifat fisik tanah, yaitu terhadap total pori dan distribusi pori khususnya pori aerasi dan pori air tersedia.



Gambar 7. Efek pemberian biochar dan kompos pupuk kandang terhadap porositas tanah (total pori, pori aerasi dan pori air tersedia) (Sumber: Dariah *et al.* 2014a).

Figure 7. The effect of biochar and compost of manure on soil porosity (total pores, aeration pores and water available pores) (Source: Dariah *et al.* 2014a).

Perbaikan sifat biologi tanah

Keberhasilan aplikasi pupuk hayati pada lahan kering suboptimal sangat ditentukan oleh daya adaptasi mikroorganisme yang menjadi bahan aktif dari pupuk. Oleh karena itu perlu diseleksi inokulan yang mampu bertahan pada kondisi lingkungan masam, khusus untuk lahan kering masam, sedangkan untuk lahan kering iklim kering perlu diseleksi inokulan yang mampu bertahan pada kondisi kering. Simanungkalit (2006) menyatakan bahwa salah satu faktor yang menentukan mutu pupuk hayati adalah efektivitas strain-stain/species-species mikroba yang terkandung dalam pupuk hayati. Mikroba-mikroba tersebut harus diskriminasi berdasarkan sifat tertentu yang diinginkan, selanjutnya diformulasi menjadi inokulan.

Perbaikan kualitas tanah juga bisa berdampak terhadap perbaikan lingkungan, sehingga berpengaruh positif terhadap perkembangan organisme tanah. Penanggulangan faktor pembatas lahan, misalnya perbaikan pH pada lahan kering masam juga bisa berdampak positif terhadap peningkatan daya adaptasi mikroorganisme yang menjadi bahan aktif pupuk hayati, disamping memperbaiki perkembangan organisme lokal, termasuk perkembangan cacing tanah. Aplikasi bahan organik selain berguna untuk perbaikan sifat kimia dan fisik tanah, juga merupakan sumber energi bagi organisme penyubur tanah.

Implementasi teknik konservasi tanah dan air

Lahan suboptimal sangat rentan terhadap degradasi lahan. Penurunan produktivitas lahan yang diakibatkan oleh proses degradasi lahan pada lahan suboptimal juga jauh lebih cepat dan relatif sulit untuk dipulihkan. Sebagai salah satu contoh, proses erosi yang terjadi pada lahan kering masam akan cepat berpengaruh negatif terhadap produktivitas tanaman akibat munculnya lapisan bawah permukaan (*sub soil*) yang mempunyai tingkat kemasaman lebih tinggi dibanding lapisan permukaan (*topsoil*). Tanah pada lapisan permukaan juga umumnya mempunyai kemampuan memegang air yang lebih tinggi sebagai dampak kandungan bahan organik yang lebih tinggi, sehingga jika lapisan ini tergerus atau hilang maka akan muncul lapisan yang mempunyai sifat fisik yang lebih buruk, sehingga berpengaruh terhadap kemampuan tanah dalam mendukung produktivitas tanaman. Kondisi ini akan berdampak lebih buruk pada kondisi ketersediaan air sangat terbatas seperti pada lahan kering beriklim kering. Oleh karena itu tindakan konservasi tanah dan air pada lahan kering suboptimal merupakan syarat mutlak keberlanjutan usahatani. Tindakan konservasi bukan hanya ditujukan untuk mencegah erosi, namun juga untuk memelihara dan meningkatkan kualitas lahan.

Tindakan konservasi pada lahan kering suboptimal harus memperhatikan karakteristik lahan khususnya yang menjadi faktor pembatas. Pada lahan kering masam harus dipilih tindakan konservasi yang tidak menyebabkan faktor pembatas utama yaitu kemasaman tanah menjadi terekspose ke bidang olah. Misalnya teras bangku meskipun sudah terbukti efektif dalam mencegah erosi, namun tidak disarankan untuk diterapkan pada lahan kering masam, karena saat dilakukan pembangunan teras, *subsoil* yang memiliki tingkat kemasaman relatif tinggi dibanding lapisan di

atasnya berpeluang besar untuk terekspos (muncul) di permukaan, sehingga terjadi peningkatan kemasaman tanah pada lapisan olah. Konservasi tanah secara vegetatif merupakan tindakan konservasi yang direkomendasikan untuk lahan kering masam (Adimihardja dan Sutono 2005; Dariah *et al.* 2010; Rochayati dan Dariah 2012;). Beberapa jenis teknologi konservasi vegetatif yang sesuai untuk diterapkan lahan pangan tanaman semusim di antaranya adalah *alley cropping* dan *strip cropping*.

Pada lahan kering iklim kering teknologi konservasi vegetatif juga direkomendasikan untuk diterapkan, namun perlu dipilih tanaman konservasi yang tahan kering. Tanaman *legum tree* yang tahan kekeringan di antaranya adalah gamal (*gliricide*) dan lamtoro, sedangkan rumput yang relatif tahan kering adalah rumput gajah. Tanah pada lahan kering beriklim kering umumnya bersolum dangkal, sehingga tidak direkomendasikan untuk menerapkan teras bangku. Pada areal dengan persen batuan yang relatif tinggi, pembuatan teras atau guludan batu sangat disarankan karena selain bermanfaat untuk penanggulangan erosi, juga akan mengurangi persen batuan di areal tanam (bidang olah). Pembuatan teras batu merupakan kearifan lokal yang sudah berkembang pada lahan kering berbatu seperti di NTB, NTT, dan Gunung Kidul. Pada areal tidak berbatu misalnya di NTT, beberapa petani setempat menggunakan sengkedan yang terbuat dari kayu atau ranting untuk menahan erosi (beberapa lokasi di NTT mengistilahkan sengkedan dengan sebutan kebekolo). Beberapa kearifan lokal seperti ini perlu dipertahankan dan terus disempurnakan. Hasil penelitian yang dilakukan Dariah *et al.* (2013a; 2014a) menunjukkan teknik konservasi yang berkembang dari kearifan lokal seperti sengkedan kayu/ranting (kebekolo) dan guludan batu (*tabatan watu*) efektif dalam menekan erosi dan aliran permukaan.

PENUTUP

Peranan lahan kering (termasuk yang tergolong sebagai lahan kering suboptimal) sebagai penghasil pangan menjadi semakin penting, karena diversifikasi pangan merupakan opsi yang harus ditempuh dalam mencapai ketahanan dan kemandirian pangan. Namun demikian aplikasi inovasi teknologi, khususnya untuk penanggulangan faktor pembatas lahan, merupakan syarat mutlak dalam memberdayakan lahan kering suboptimal sebagai penghasil utama pangan.

Peningkatan kualitas tanah pada lahan kering suboptimal, selain ditujukan untuk penanggulangan faktor pembatas seperti kemasaman tanah dan ketersediaan air, juga harus ditujukan untuk penanggulangan degradasi lahan. Proses degradasi lahan kering suboptimal relatif cepat dan sulit untuk dipulihkan. Optimalisasi pemanfaatan bahan organik, utamanya yang bersifat insitu merupakan opsi utama peningkatan kualitas tanah pada lahan kering suboptimal. Ambang batas erosi yang dapat ditoleransi pada lahan kering suboptimal tergolong sangat rendah, sehingga aplikasi teknik konservasi harus menjadi bagian integral dari pengembangan lahan kering suboptimal terutama untuk tanaman pangan semusim. Namun demikian, pemilihan teknik konservasi harus memperhatikan faktor pembatas lahan kering suboptimal, diantaranya kondisi lapisan bawah permukaan yang mengandung Alumunium tinggi pada lahan kering masam atau kondisi solum tanah dangkal dan berbatu pada lahan kering iklim kering.

Pengelolaan sumberdaya air pada lahan kering suboptimal selain difokuskan untuk mengkonservasi lengas tanah (*soil moisture*), juga harus ditujukan untuk mengkonservasi air, serta menambah cadangan air tanah (*water storage*). Irigasi suplemen melalui pemanfaatan teknologi panen hujan dan aliran permukaan efektif dalam meningkatkan luas tanam dan indeks pertanaman, yang berdampak terhadap peningkatan produktivitas lahan.

DAFTAR PUSTAKA

- Adimihardja, A. dan S. Sutono. 2005. Teknologi pengendalian erosi lahan berlereng. Hlm. 103-145 dalam Teknologi Pengelolaan Lahan Kering: Menuju Pertanian Produktif dan Ramah Lingkungan. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Adiningsih, J. dan M. Sudjadi. 1993. Peranan Sistem Bertanam Lorong (*Alley Cropping*) dalam meningkatkan Kesuburan Tanah pada Lahan Kering Masam. Risalah Seminar, Hasil Penelitian Tanah dan Agroklimat. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat, Bogor.
- Atman. 2006. Pengelolaan Tanaman Kedelai di Lahan Kering Masam. Jurnal Ilmiah Tambua, Vol. V, No. 3: 281-287.
- Agus, F., K. Subagyo, dan E. Surmaini. 2003. Teknologi konservasi air dan irigasi suplemen untuk optimasi pertanian lahan kering. Pusat Penelitian dan Pengembangan Tanah dan Agroklimat. Lokakarya Sistem Integrasi Kelapa Sawit-Sapi.
- BBSDLP (Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian). 2010. Teknologi panen hujan dan teknologi irigasi

- untuk pengelolaan air dan iklim. Informasi Ringkas Bank Pengetahuan Tanaman Pangan Indonesia.
- BBSDP. 2012. Lahan Suboptimal: Potensi, Peluang, dan Permasalahan Pemanfaatannya untuk Mendukung Program Ketahanan Pangan. Disampaikan dalam Seminar Lahan Sub-Optimal, Palembang, Maret 2012. Kementerian Ristek dan Teknologi.
- Balitbang (Badan Penelitian dan Pengembangan) Pertanian, 2007. Petunjuk teknis lapang pengelolaan tanaman terpadu (PTT) padi sawah irigasi. Badan Litbang Pertanian. Jakarta.
- Balitbang Pertanian. 2014. Sumberdaya Lahan Pertanian Indonesia. Luas Penyebaran, dan Potensi Ketersediaan. Balitbang Pertanian, Kementerian Pertanian. 62 hlm.
- Badan Pusat Statistik (BPS). 2012. Statistik Indonesia. Badan Pusat Statistik. Jakarta
- Basri, I.H. and Z. Zaini, 1992. Research at the upland farming system key site in Sitiung. P. 221-241 *in* Proceeding of Upland Rice-Based farming Systems' Research Planning Meeting. 18 April - 1 May 1992. Chiangmai, Thailand. International Rice Research Institute. Manila Philippines.
- CIRAD. 2004. Research-Development activities: "Farming system intensification on catchments in Jawa Tengah and DI Yogyakarta provinces". Laporan kegiatan kerjasama Balitklimat-CIRAD.
- Dariah, A., Sutono, and N.L. Nurida. 2010. Penggunaan Pembenah Tanah Organik dan Mineral untuk Perbaikan Kualitas tanah Typic kanhapludults Tamanbogo, Lampung. Jurnal Tanah dan iklim No 31: 1-10.
- Dariah, A. dan I. Las. 2010. Ekosistem lahan kering sebagai Pendukung Pembangunan Pertanian. Hlm. 46-66 *dalam* Membalik Kecenderungan Degradasi Sumberdaya Lahan dan Air. Badan Litbang Pertanian. IPB-Press.
- Dariah, A., N.L. Nurida, dan Sutono. 2013a. Pengujian teknik konservasi spesifik lokasi lahan kering beriklim kering di Desa Oebola, Kabupaten Kupang. Hlm. 540-546 *dalam* Prosiding Seminar Nasional Inovasi Pertanian Lahan Kering. Kupang, 4-5 September 2012. Balai Besar Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian. Balitbang Pertanian. Kementerian Pertanian.
- Dariah, A., Sutono, dan I G.M. Subiksa. 2013b. Sistem Pengelolaan Tanah pada Lahan Kering Beriklim Kering. (Eds. Nurida dan Purnomo). Balitbang Pertanian. Kementerian Pertanian. IAARD Press. 63 hlm.
- Dariah, A., N.L. Nurida., and Sutono. 2014a. The Effect of Biochar on Soil Quality and Crop Productivity at Dryland. P. 171-176 *in* 11th International Conference The East and Southeast Asia Federation of Soil Science Societies. Bogor, 21-24 October. Indonesian Society of Soil Science.
- Dariah, A., N.L. Nurida, dan Sutono. 2014b. Aplikasi teknik konservasi untuk menekan kehilangan hara dan bahan organik pada lahan kering beriklim kering Berbasis tanaman semusim. Disampaikan dalam Seminar Nasional Balai Penelitian Kacang dan Umbi. Malang, 5 Juni 2014.
- Dorenboos, A.H. and Kassam. 1979. Response to Water. FAO Drainage and Irrigation Paper No. 33. Rome.
- FAO. 2001. Lecture Note on The Major Soil of The World. World Soil Resources Report 94. FAO.
- FAO. 2005. Irrigation water requirements, *In* Irrigation Potential in Africa: A Basin Approach, Chapter 5, FAO Corporate Document Repository, FAO, Rome.
- Fagi, A.M. dan I. Syamsiah. 1992. Prospek embung dalam menunjang kelestarian produktivitas lahan tadah hujan. Hlm. 195-210 *dalam* Prosiding Simposium Meteorologi Pertanian III: Iklim, Teknologi, dan Pembangunan Pertanian Berkelanjutan di Indonesia Bagian Timur.
- Gaskin, J.W., A. Speir, L.M. Morris, L. Ogden, K. Harris, D. Lee, K.C. Das. 2007. Potential for pyrolysis char to affect soil moisture and nutrient status of loamy sand soil. In: Georgia Water Resources Conference. University of Georgia.
- Glaser, B., J. Lehmann, W. Zech. 2002. Ameliorating physical and chemical properties of highly weathered soils in the tropics with charcoal – a review. Biology and Fertility of Soils 35, 219-230.
- Gould, J. 2003. Designing water storage for rainwater harvesting system. Paper presented at International Training Course on Rainwater Harvesting and Utilization. Water Resources Bureau of Ganzu Province-International Rainwater Catchments System Association-Ganzu Research Institute for Water Conservancy. Collaboration with China Agriculture University and Agriculture Academy of Ganzu Province. Sept 8-Oct 22, 2003.
- Hakim, I. 2012. Kebijakan agroforestry sebagai solusi atas permasalahan pertanian dan kehutanan di Indonesia. Hlm 74-88 *dalam* Prosfek Pertanian Lahan Kering dalam Mendukung Ketahanan Pangan. Badan Litbang Pertanian. LITBANG-PRESS.
- Handoyo, F.W. 2013. Pengutan diversifikasi pangan berbasis kearifan lokal. <http://fw89.blogspot.com/2013/06/>
- Haryati, U. 2011. Irigasi suplemen dan strategi implementasinya pada pertanian lahan kering. Sinar Tani Edisi 6-12 Juli 2011 No.3413 Tahun XLI.
- Heryani, N., B. Kartiwa, G. Irianto, dan L. Bruno. 2001. Pemanfaatan sumberdaya air untuk mendukung sistem usahatani lahan kering : Studi kasus di Sub DAS Bunder, DAS Oyo, Gunungkidul, DIY. *Dalam* Sofyan *et al.* (eds.). Prosiding Seminar Sehari Peranan Agroklimat dalam Mendukung Pengembangan Usahatani Lahan Kering. Puslibangtanak, Badan Litbang Pertanian.
- Heryani, N., G. Irianto, dan N. Pujilestari, 2002a. Upaya peningkatan ketersediaan air untuk menekan resiko kekeringan dan meningkatkan produktivitas lahan. Prosiding Seminar Nasional Agronomi dan Pameran Pertanian 2002. Perhimpunan Agronomi Indonesia, 29-30 Oktober 2002. Bogor.

- Heryani, N., G. Irianto, dan N. Pujilestari. 2002b. Pemanenan Air untuk Menciptakan Sistem Usahatani yang Berkelanjutan (Pengalaman di Wonosari, Daerah Istimewa Yogyakarta). Buletin Agronomi. XXX(2):45-52. 2002.
- Heryani, N., G. Irianto, N. Sutrisno, dan E. Surmaini. 2003. Penelitian dan Pengembangan Pengelolaan Sumberdaya Air untuk Meningkatkan Produktivitas Lahan Kering di Kabupaten Cianjur Jawa Barat. Laporan Akhir Penelitian. Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi dan Direktorat Pemanfaatan Air Irigasi. Laporan Akhir Penelitian.
- Heryani, N., Sawiyo, B. Kartiwa, K. Sudarman, P. Rejekiingrum, Y. Apriyana. 2005. Pengelolaan Sumberdaya Iklim dan Hidrologi untuk Mendukung Primatani. Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi, Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Litbang Pertanian. Kementan.
- Heryani, N., Sawiyo, N. Pujilestari. 2006. Pengelolaan Sumberdaya Iklim dan Hidrologi untuk Mendukung Primatani kecamatan Semin, kabupaten Gunungkidul, propinsi DIY Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi, Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian, Badan Litbang Pertanian. Kementan.
- Heryani N., S.H. Talaohu, K. Sudarman, Nasrullah. 2010. Pengembangan Metode Penentuan Kriteria Rancang Bangun Sistem Panen Hujan dan Aliran Permukaan Untuk Mengurangi Resiko Banjir dan Kekeringan >30%. Laporan Akhir Penelitian Kemenristek. Balai Penelitian Agroklimat dan Hidrologi. Balai Besar Litbang Sumber Daya Lahan Pertanian. Badan Litbang Pertanian Kementan.
- Heryani, N., H. Sosiawan, S.H. Talaohu, S.H. Adi. 2012. Pengembangan Sistem Panen Hujan dan Aliran Permukaan untuk Mengurangi Risiko Kekeringan Mendukung Ketahanan Pangan. Laporan Akhir Penelitian Insentif Peningkatan
- Hidayat, A. dan A. Mulyani. 2005. Lahan kering untuk pertanian. Hlm. 7-38 dalam Teknologi Pengelolaan Lahan Kering Menuju Pertanian Produktif dan Ramah Lingkungan. Pusat Penelitian Tanah dan Agroklimat. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian.
- Huaqi W., B.A.M. Bouman, D. Zhao, W. Changgu and P.F. Moya. 2003. Aerobic rice in northern China: Opportunities and challenges. In "Water-Wise Rice Production" (B. A. M. Bouman, H. Hengsdijk, B. Hardy, P. S. Bindraban, T. P. Tuong, and J. K. Ladha, Eds.). pp. 207-222. Proceedings of a Thematic Workshop on Water-Wise Rice Production, 8-11 April 2002 at IRRI Headquarters in Los Banos, Philippines. International Rice Research Institute, Los Banos, Philippines.
- Irianto, G., P. Perez and Duchesne. 2001. Modeling the influence of irrigated terrace on the hydrological response of a small basin. Environmental Modeling and Software 16 (2001). Elsevier Science Ltd. p.31-36.
- Irianto, G., J. Duchesne., F. Forest., P. Perez., C. Cudennec, T. Prasetyo and S. Karama. 2001a. Rainfall and Runoff Harvesting for Controlling Erosion and Sustaining Upland Agriculture Development. Proceeding of the 10th International Soil Conservation Organization Conference, 23-28 May 1999, West Lafayette, Indiana USA.
- Irianto, G. 2002a. *Orang Jakarta Tenggelamkan Jakarta*. Harian Kompas tanggal 31 Januari 2002. Hal 4.
- Irianto, G. 2002b. Benarkah tahun 2002 akan terjadi el-nino dengan intensitas lemah? Harian Kompas tanggal 22 Juni 2002. Hal 10.
- Karama, S. 2003. Panen Hujan dan Aliran Permukaan untuk Menanggulangi Banjir dan Kekeringan Serta Mengembangkan Komoditas Unggulan. Laporan Riset Unggulan Terpadu VII Bidang Teknologi Hasil Pertanian. Kementerian Riset dan Teknologi RI dan Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.
- Kasryno, F. dan Haryono. 2010. Belajar dari kebijakan pengelolaan pertanian. Dalam Membalik Kecenderungan Degradasi Sumberdaya Lahan dan Air. Badan Litbang Pertanian. IPB-Press
- Kurnia, U. 2004. Prospek pengairan pertanian tanaman semusim lahan kering. Jurnal Litbang pertanian, 23(4): 130-138.
- Kurnia, U., Sudirman, dan H. Kusnadi. 2005. Teknologi rehabilitasi dan reklamasi lahan. Hlm. 147-182 dalam Teknologi Pengelolaan Lahan Kering: Menuju Pertanian Produktif dan Ramah Lingkungan. Puslitbangtanak. Bogor.
- Lal, B., A.K. Nayak, P. Gautam, R. Tripathi, T. Singh and J.L. Katara. 2013. Popular Aerobic Rice: A Water Saving Approach for Rice Production. Kheti Volume-1, Issue-2 (April-June), 2013. Central Rice Research Institute, India.
- Machado, S., S. Petrie, K. Rhinhart, and R.E. Ramig. 2008. Tillage Effects on Water Use and Grain Yield of Winter Wheat and Green Pea in Rotation. Agronomy Journal. 100 (1):154-162.
- Mulyani, A. 2005. Potensi Lahan Kering Masam untuk Pengembangan Pertanian. Warta Penelitian dan Pengembangan Pertanian vol 28 no 2.
- Mulyani, A. 2013. Karakteristik dan potensi lahan kering beriklim kering untuk pengembangan pertanian di Nusa Tenggara Timur. Hlm. 593-600 dalam Prosiding Seminar Nasional Inovasi Pertanian Lahan Kering. Kupang 4-5 September 2012. Balai Besar Pengkajian dan Pengembangan Teknologi Pertanian. Badan Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Kementrian Pertanian.
- Mulyani, A. dan M. Sarwani. 2013. Karakteristik dan potensi lahan suboptimal untuk pengembangan pertanian di Indonesia. Jurnal Sumberdaya Lahan. 7(1): 47-58.
- Murtalaksono, K., dan S. Anwar. 2014. Potensi, kendala, dan strategi pemanfaatan lahan kering dan kering masam untuk pertanian (padi, jagung, kedede), peternakan, dan perkebunan dengan menggunakan teknologi tepat guna dan spesifik lokasi. Disampaikan pada seminar nasional lahan suboptimal. Pusat Unggulan Riset Pengembangan Lahan Suboptimal (PUR-PLSO) Universitas Sriwijaya, Palembang, 26-27 September 2014.

- Novak, J.M., I.M. Lima, B. Xing, J.W. Gaskin, C. Steiner, K.C. Das, M. Ahmedna, D. Rehrh, D.W. Watts, W.J. Busscher, H. Schomberg. 2009. Characterization of designer biochar produced at different temperatures and their effects on a loamy sand. *Annals of Environmental Science* 3, 195-206.
- Nurida, L.N., A. Dariah, dan A. Rachman. 2009. Kualitas limbah pertanian sebagai bahan baku pembenah tanah berupa biochar untuk rehabilitasi lahan. Hlm. 209-216 *dalam* Prosiding Seminar Nasional dan Dialog Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor, 18-20 Nopember 2008.
- Nurida, L.N., A. Dariah, dan A. Rachman. 2012. Peningkatan kualitas tanah dengan pembenah tanah biochar limbah pertanian. *Jurnal Tanah dan Iklim*. 37 (2):69-78.
- Nurida, L.N. dan A. Rachman. 2013. Alternatif pemulihan lahan kering masam terdegradasi dengan formula pembenah tanah biochar di Typic Kanhapludults, Lampung. Hlm. 639-648 *dalam* Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pemupukan dan Pemulihan Lahan terdegradasi. Bogor, 29-30 Juni 2012.
- Parthasarathi T., K. Vanitha, P. Lakshmanakumar, and D. Kalaiyarasi. 2012. Aerobic rice mitigating water stress for the future climate change. *International Journal of Agronomy and Plant Production*. 3(7): 241-254.
- Polsan, P., M. Aoki and Sa-Nguan. 2004. Comparative actual water consumption of irrigated and rainfed paddy rice field using Bower ratio method. 2nd APHW Conference, Singapore.
- Pujilestari, N., G. Irianto, N. Heryani. 2002. Peningkatan produktivitas lahan kering melalui pembangunan "channel reservoir" bertingkat (Studi kasus di sub DAS Bunder, Kabupaten Gunungkidul, Provinsi DIY). Makalah disampaikan pada Seminar Nasional Puslitbangtanak, Cisarua-Bogor, 2002.
- Rachman, A. dan A. Dariah. 2008. Olah tanah konservasi. Hlm. 20-35. *dalam* Konservasi lahan kering. Balai Penelitian Tanah. Badan Litbang Pertanian. Departemen Pertanian.
- Rochayati, S. dan A. Dariah. 2012. Pengembangan lahan kering masam: peluang, tantangan, dan strategi, serta teknologi pengelolaan. Hlm. 187-206 *dalam* Prospek Pertanian Lahan Kering dalam Mendukung Ketahanan Pangan. Badan Litbang Pertanian. LITBANG-PRESS.
- Sawiyo, B. Kartiwa, H. Sosiawan, K. Sudarman. 2008. Panen air dengan dam parit dan aplikasi irigasi suplementer untuk peningkatan produktivitas lahan. Laporan Akhir Penelitian. Balai Penelitian Agroklimate dan Hidrologi, Balai Besar Sumberdaya Lahan Pertanian. Badan Litbang Pertanian (tidak dipublikasikan).
- Setyorini, D., D.A. Suriadikarta, dan Nurjaya. 2007. Rekomendasi pemupukan padi sawah bukaan baru. Dalam: Tanah Sawah Bukaan *dalam* F. Agus, *et al.* (eds). Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. Bogor. Hal 5-24.
- Simarmata, T., B. Joy, dan N. Danapriatna. 2012. Peranan penelitian dan pengembangan pertanian pada industri pupuk hayati (biofertilizer). Hlm. 1-14 *dalam* Prosiding Seminar Nasional Teknologi Pemupukan dan Lahan terdegradasi. Bogor, 29-30 Juni 2012. Balitbang Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Simanungkalit, R.D.M. 2006. Prospek pupuk organik dan hayati. Hlm. 245-264 *dalam* Pupuk Organik dan Pupuk Hayati. Balai Besar Litbang Sumberdaya Lahan Pertanian. Balitbang Pertanian, Kementerian Pertanian.
- Subagyo, H., N. Suharta, dan A.B. Siswanto. 2002. Tanah-tanah pertanian di Indonesia. Hlm. 21-65 *dalam* Sumberdaya Lahan di Indonesia dan Pengelolaannya. Puslittanak. Balitbang Pertanian. Bogor.
- Subiksa, I G.M., A. Dariah, and S. Rochayati. 2014. Development of non-lime ameliorant to improve productivity of acid upland. 11th International Conference The East and Southeast Asia Federation of Soil Science Societies. Bogor, 21-24 October. Indonesian Society of Soil Science.
- Sutrisno, N., Sawijo, N. Pujilestari. 2003. Pengelolaan Air dan Pengembangan Pertanian Berkelanjutan untuk Penanggulangan Banjir dan Kekeringan. Laporan Akhir Penelitian. Balai Penelitian Agroklimate dan Hidrologi dan Proyek Pembinaan Perencanaan Sumber Air Ciliwung - Cisadane (tidak dipublikasikan).
- Syamsiah, I., dan A.M. Fagi. 1993. Teknologi Embung. Prosiding Seminar Pengelolaan Tata Air dan Pemanfaatannya *dalam* Satu Kesatuan Toposekuens. Cilacap, 7-8 Oktober 1993.
- Syamsiah, I. 1990. Potensi embung, teknik pembuatan, serta pemanfaatannya. Seminar hasil penelitian 1989/1990. Balittan Sukamandi, 3-6 September 1990.
- Toha, H.M. 2012. Pengembangan padi gogo mengatasi rawan pangan wilayah lahan marginal. Prospek Pertanian Lahan Kering dalam Mendukung Ketahanan Pangan, hal 143-163. Badan penelitian dan Pengembangan Pertanian. Jakarta.
- van Duivenbooden, N., M. Pala, C. Studer, C.L. Bielders, and D.J. Beukes. 2000. Cropping systems and crop complementarity in dryland agriculture to increase soil water use efficiency: a review. *Netherlands Journal of Agricultural Science (NJAS)-Wageningen Journal of Life Sciences* 48(3): 213-236.
- Wahyunto dan R. Shofiyati. 2012. Wilayah potensial pertanian lahan kering untuk mendukung pemenuhan kebutuhan pangan nasional. Hlm. 297-315 *dalam* Prospek Pertanian Lahan Kering dalam Mendukung Ketahanan Pangan. Badan Litbang Pertanian. IAARD-PRESS. Jakarta.